

- підготовку вторинної сировини для утилізації;
- утилізацію складових ТПВ;
- організація збирання, перероблення та утилізації великогабаритних та будівельних відходів, використаної побутової техніки тощо;
- захоронення несортованого інертного залишку в брикетованому стані на полігонах.

1. Управління відходами: вітчизняний та зарубіжний досвід / [О.І.Бондар, В.Є.Барановська, М.О.Барінов та ін.]; за ред. О.І.Бондаря. – К.: Айва Плюс Лтд, 2008. – 196 с.

2. Воробйов А.Е. Принципи управління твердими побутовими відходами / А.Е.Воробйов, Е.В.Чекушина // Співпраця для вирішення проблеми відходів: Зб. наук. праць. – Харків: ХНЕУ, 2009. – С. 65–69.

3. Вепренцев. И.В. Европейский подход к отходам / И.В.Вепренцев // Твердые бытовые отходы. – 2006. – №10. – С.34-36.

4. Горох Н.П. Тенденции перехода к комплексной переработке муниципальных отходов // Материалы Всеукр. науч.-практ. конф. – Алушта: ХО НТТ КГ и ПО, ХНАГХ, 2005. – С.153-155.

5. Мирный А.Н. Твердые бытовые отходы – проблемы // Жилищное и коммунальное хозяйство. – 1991. – №6. – С.35-37.

*Отримано 30.12.2010*

УДК 697.14.001.24 : 536.24

Б.А.КУТНИЙ, О.Б.БОРЩ, кандидати техн. наук

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОПРОВІДНОЇ СТІНКИ ЗІ ЗМІННИМИ ТЕПЛОФІЗИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Статтю присвячено розробці цифрового методу розрахунку нестационарних теплових режимів плоских стінок в умовах змінних теплофізичних характеристик матеріалів. Результати досліджень можуть застосовуватися для аналізу теплового режиму огорожувальних конструкцій та будівельних матеріалів.

Статья посвящена разработке численного метода расчета нестационарных тепловых режимов плоских стенок в условиях переменных теплофизических характеристик материалов. Результаты исследований могут использоваться для анализа теплового режима ограждающих конструкций и строительных материалов.

Article is dedicated to the development of the numerical method of calculation of the no stationary thermal conditions of flat walls under the conditions of the variable thermo physical characteristics of materials. The results of studies can be used for the analysis of the thermal condition of the enclosing constructions and the building materials.

*Ключові слова:* теплопровідність, огорожувальні конструкції, теплофізичні характеристики, теплообмін.

При розгляді таких задач, як визначення теплового режиму багатопарових огорожувальних конструкцій будівель, їх вологісного ре-

жиму, промерзання та відтавання матеріалів, аналіз теплової стійкості будівель, необхідно визначати температуру на поверхні та всередині цих будівельних конструкцій у будь-який момент часу.

Необхідно також враховувати, що деякі теплофізичні характеристики матеріалів можуть суттєво змінюватися залежно від температури та часу. До таких змінних характеристик матеріалу належать: густина, теплопровідність, теплоємність, маса та товщина. Крім того, у випадку багат шарових будівельних конструкцій їх характеристики змінюються.

В багатьох практичних задачах з теплофізики характеристики матеріалу з часом можуть змінюватися в широкому діапазоні. Наприклад: висихання, зволоження, замерзання води в будівельних матеріалах, танення снігу та льоду, нагрівання металів до високих температур, сублімація та багато інших. Розв'язок цих задач потребує врахування змін теплофізичних характеристик матеріалів під час розрахунку їх температурного режиму, оскільки температурний режим у багатьох випадках визначає теплофізичні характеристики матеріалу.

При аналітичному дослідженні таких задач існують суттєві труднощі. Як правило, вони мають лише наближені аналітичні рішення для найпростіших випадків [1]. Наприклад:

- промерзання вологого ґрунту при постійній температурі на його поверхні;
- нагрівання вологого матеріалу, для якого коефіцієнт теплопровідності є ступеневою функцією координати;
- нагрівання напівобмеженого масиву, для якого коефіцієнт теплопровідності є лінійною функцією температури.

Задачі такого типу відносяться до категорії задач нелінійної теплопровідності. Зазвичай для таких задач на практиці застосовують переважно наближені методи обчислень [2], які поділяються на аналітичні та цифрові. До аналітичних можна віднести метод інтегральних перетворень Лапласа та варіаційні методи лінеаризації.

Багато існуючих цифрових математичних моделей розроблено за умови, що вказані фізичні величини є постійними [3-5]. Аналіз їх застосування в умовах змінних теплофізичних характеристик матеріалів показує, що лише при незначних відхиленнях теплофізичних характеристик можна отримати наближене рішення.

В [3] розглянуто рішення цієї задачі для багат шарової стінки, методом кінцевих різниць. Важливою проблемою цього методу є жорсткий зв'язок між координатним кроком та часовим інтервалом. При різних та змінній теплопровідності для дотримання постійного інтервалу часу необхідно змінювати координатний крок, що суттєво усклад-

нює розрахунок.

Вирішення задач нестационарної теплопровідності при змінних теплофізичних характеристиках матеріалів вимагає вдосконалення існуючого методу розрахунку. Важливою умовою є незалежність координатного і часового кроків між собою та від теплофізичних характеристик матеріалу.

Для розв'язку вищеназаних задач необхідно вдосконалити існуючу математичну модель шляхом врахування зміни теплофізичних характеристик матеріалу як по товщині матеріалу, так і в часі.

Розглянемо одношарову плоску стінку (рис.1). Для знаходження розподілу температур всередині цієї стінки розділимо її паралельними площинами на ряд прошарків, з кроком  $\Delta x$ . Для спрощення вважатимемо, що в межах одного прошарку ( $\pm \Delta x$ ) теплофізичні характеристики матеріалу стінки в даний момент часу постійні.

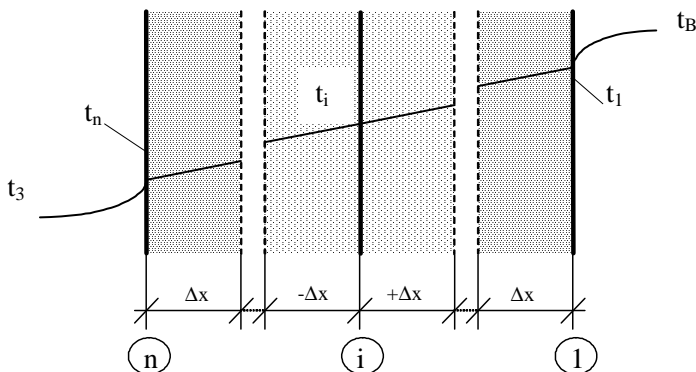


Рис.1 – Розподіл температури в прошарках стінки

Вважатимемо, що маса частини конструкції, обмежена кроком  $\pm \Delta x$  зосереджена в площині цього прошарку. Для внутрішнього  $i$ -го прошарку ( $i = 2 \div (n - 1)$ ) всередині матеріалу рівняння теплового балансу має вигляд:

$$c_i m_i \frac{dt_i}{d\tau} = \frac{F(t_{i-1} - t_i)}{\frac{\Delta x_{i-1}}{\lambda_{i-1}} + \frac{\Delta x_i}{\lambda_i}} - \frac{F(t_i - t_{i+1})}{\frac{\Delta x_i}{\lambda_i} + \frac{\Delta x_{i+1}}{\lambda_{i+1}}} + q_{V(i)} \cdot F \cdot 2 \cdot \Delta x_i, \quad (1)$$

де  $c_i$  – теплоємність  $i$ -го прошарку матеріалу огорожувальної конструкції, Дж/кг·°С;  $m_i$  – маса матеріалу  $i$ -го теплоакumuлюючого

прошарку, кг;  $t_1, t_2, \dots, t_i$  – температура відповідного прошарку огорожувальної конструкції,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\lambda_i$  – теплопровідність  $i$ -го прошарку матеріалу,  $\text{Вт/м}^{\circ}\text{C}$ ;  $F$  – площа поверхні конструкції,  $\text{м}^2$ ;  $q_{V(1)}$  – питоме об'ємне джерело теплової енергії,  $\text{Вт/м}^3$ .

Якщо біля внутрішньої поверхні задати граничні умови третього роду, то рівняння теплового балансу для першого (зовнішнього) прошарку матиме вигляд:

$$c_1 m_1 \frac{dt_1}{d\tau} = \alpha_B F (t_B - t_1) - \frac{F(t_1 - t_2)}{\frac{\Delta x_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta x_2}{\lambda_2}} + q_{V(1)} \cdot F \cdot \Delta x_1, \quad (2)$$

де  $\alpha_B$  – коефіцієнт конвективного теплообміну біля внутрішньої поверхні,  $\text{Вт/м}^2\text{C}$ ;  $t_B$  – температура внутрішнього повітря,  $^{\circ}\text{C}$ .

Для останнього (зовнішнього) прошарку матеріалу:

$$c_n m_n \frac{dt_n}{d\tau} = \frac{F(t_{n-1} - t_n)}{\frac{\Delta x_{n-1}}{\lambda_{n-1}} + \frac{\Delta x_n}{\lambda_n}} - \alpha_3 F (t_n - t_3) + q_{V(i)} \cdot F \cdot \Delta x_n, \quad (3)$$

де  $\alpha_3$  – коефіцієнт теплообміну біля зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції,  $\text{Вт/м}^2\text{C}$ .

Враховуючи, що для граничних прошарків матеріалу маса  $m_i = \Delta x_i \cdot \rho_i \cdot F$ , а для внутрішніх прошарків  $m_i = 2 \cdot \Delta x_i \cdot \rho_i \cdot F$ , отримаємо систему  $n$  рівнянь з відповідною кількістю невідомих температур:

$$\begin{aligned} c_1 \Delta x_1 \rho_1 \frac{dt_1}{d\tau} &= \alpha_B (t_B - t_1) - \frac{(t_1 - t_2)}{\frac{\Delta x_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta x_2}{\lambda_2}} + q_{V(1)} \cdot \Delta x_1, \\ 2c_i \Delta x_i \rho_i \frac{dt_i}{d\tau} &= \frac{(t_{i-1} - t_i)}{\frac{\Delta x_{i-1}}{\lambda_{i-1}} + \frac{\Delta x_i}{\lambda_i}} - \frac{(t_i - t_{i+1})}{\frac{\Delta x_i}{\lambda_i} + \frac{\Delta x_{i+1}}{\lambda_{i+1}}} + q_{V(i)} \cdot 2 \cdot \Delta x_i, \\ c_n \Delta x_n \rho_n \frac{dt_n}{d\tau} &= \frac{(t_{n-1} - t_n)}{\frac{\Delta x_{n-1}}{\lambda_{n-1}} + \frac{\Delta x_n}{\lambda_n}} - \alpha_3 (t_n - t_3) + q_{V(i)} \cdot \Delta x_n. \end{aligned} \quad (4)$$

Отримана математична модель враховує відмінності теплофізичних характеристик прошарків огорожувальної конструкції, які знаходяться поряд.

Система диференціальних рівнянь легко розв'язується за допомогою цифрових методів, наприклад, методом Рунге-Кутта 4-го порядку [4]. Причому всі її характеристики ( $\alpha_B$ ,  $\alpha_3$ ,  $\lambda_t$ ,  $c_i$ ,  $\rho_i$ ,  $q_{V(i)}$ ,  $\Delta x_i$ ) можуть також визначатися як функції часу та координати. Крім того, її особливістю є можливість розбивки конструкції на бажану кількість прошарків різної товщини. Запропонована математична модель може застосовуватися для визначення температурних режимів багат шарових огорожувальних конструкцій (в умовах ідеального теплового контакту між прошарками).

Для перевірки працездатності запропонованої математичної моделі розроблено комп'ютерну програму. Розглянемо режим нагрівання зовнішньої цегляної стінки при утепленні її за допомогою 20-міліметрового прошарку пінопласту.

1-й метод: розрахунок 2-прошаркової стінки з внутрішнім прошарком пінопласту (рис.2).

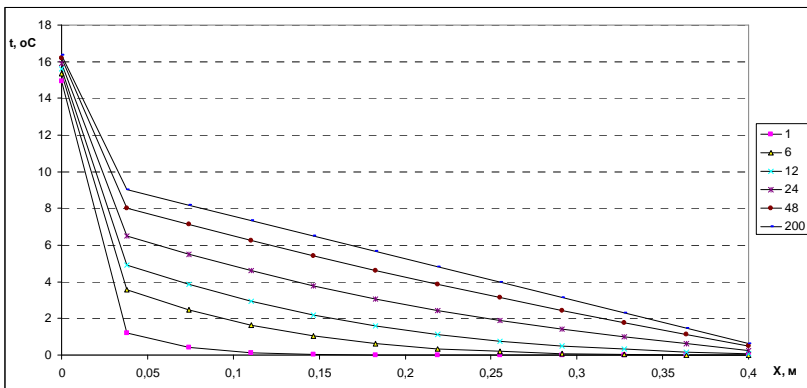


Рис.2 – Нагрівання цегляної стінки утепленої зсередини прошарком пінопласту

2-й метод: розрахунок 2-прошаркової стінки із зовнішнім прошарком пінопласту (рис.3).

Отримані результати розрахунку співпадають з відомими дослідженнями [6, 7], що свідчить про те, що запропонована математична модель адекватно відтворює тепловий режим багат шарових огорожувальних конструкцій з різними теплофізичними характеристиками.

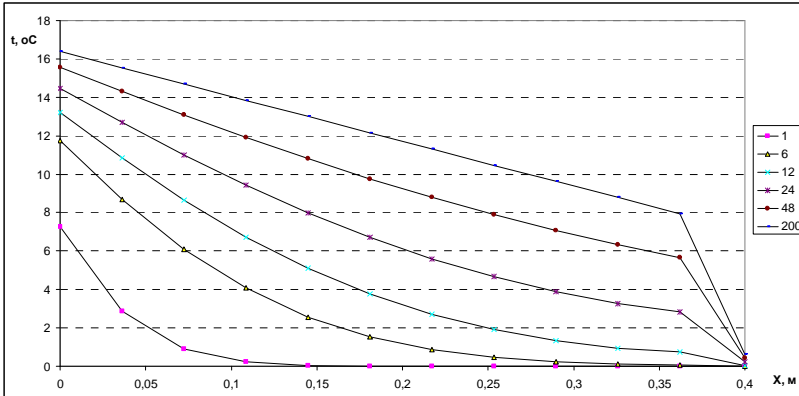


Рис.3 – Нагрівання цегляної стінки утепленої зовніш прошарком пінопласту

### Висновки

1. Отримані результати розрахунку співпадають з відомими дослідженнями, а розроблена математична модель адекватно відтворює тепловий режим багатoshарової стінки.

2. При встановленні теплової ізоляції з внутрішньої поверхні зовнішньої стіни температура на її внутрішній поверхні змінюється значно швидше, ніж при встановленні зовнішньої ізоляції. Кількість теплоти, що акумулюється цією стіною менша, ніж у випадку встановлення теплової ізоляції ззовні. Таким чином, у приміщеннях з такими огорожувальними конструкціями режим нагрівання здійснюється набагато швидше, ніж у другому випадку. Стабілізувати температурний режим в приміщеннях з такими огорожувальними конструкціями складніше, ніж у другому випадку.

3. У другому випадку, який зараз набув широкого розповсюдження, прошарок цегли відіграє роль теплового акумулятора. Такі огорожувальні конструкції варто застосовувати для автоматичної стабілізації теплового режиму приміщень. Однак, програмне регулювання буде давати значно менший ефект, ніж у першому випадку.

1.Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1967. – 599 с.

2.Цой П.В. Методы расчета отдельных задач теплопереноса. – М.: Энергия, 1971. – 384 с.

3.Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с.

4.Численные методы анализа / Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.З. Шувалова. – М.: Физматгиз, 1963. – 400 с.

5.Канторович Л.В., Крылов В.И. Методы приближенного решения уравнений в

частных производных. – Л., М.: ОНТИ НКТИ СССР, 1936. – 528 с.

6.Строй А.Ф. Управление тепловым режимом зданий и сооружений. – К.: Вища шк., 1993. –155 с.

7.Кутний Б.А. Математична модель для регулювання відпуску теплоти в умовах нестационарного теплового режиму опалюваних будівель // Галузеве машинобудування, будівництво: Зб. наук. праць / Полт. держ. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип.2. – Полтава, 1998. – С.110-119.

*Отримано 19.10.2010*

УДК 666.64-413

В.А.МАЛЯРЕНКО, д-р техн. наук

*Харківська національна академія міського господарства*

В.Н.ГОЛОЩАПОВ, Н.О.ОРЛОВА, кандидати техн. наук

*Інститут проблем машинобудування НАН України ім. А.М. Підгорного, м. Харків*

### **МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ БУДИНКІВ З УРАХУВАННЯМ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ**

Наведено методику керування тепловим режимом житлових будинків, яка дозволяє при відомих геометричних і теплофізичних характеристиках будівель визначати рівень тепловіддачі на зовнішніх огороженнях і температуру приміщення з урахуванням погодних умов, розташування і теплового навантаження будинків.

Приведена методика управління тепловим режимом жилих домов, позволяющая при известных геометрических и теплофизических характеристиках зданий определять уровень теплоотдачи на внешних ограждениях и температуру помещений с учетом погодных условий, расположения и тепловой нагрузки домов.

The techniques of management of apartment houses thermal conditions has been proposed. Technique allow to define levels of heat emission for outside borders, inside temperature and including into consideration the weather condition, location and thermal load of apartment houses in terms of given geometrical and heat physical characters.

*Ключові слова:* будівлі, огорожуючі конструкції, моделі, методика, тепловий баланс, управління.

У зв'язку з різким подорожчанням природного газу особливо гострим на Україні є питання енергозбереження. При цьому житлово-комунальне господарство країни споживає більш третини всіх паливно-енергетичних ресурсів. Для зниження енергоспоживання пропонуються різноманітні проекти реконструкції житлових будинків типових серій і будинків, що тільки проектується та вводяться в експлуатацію, з ефективним використанням енергії. Оцінка потенціалу енергозбереження проводиться за міжнародними стандартами та іншими нормативами.

Потенціал енергозбереження будівель оцінюється згідно з міжнародними стандартами та іншими нормативними актами. До цього часу відсутня єдина наукова методика, яка б дозволяла проводити загальну